単一ナノ材料の伝熱特性計測デバイスの量産技術の開発と展望

Development and prospects of manufacturing technology for thermal conductivity measurement device of individual nanomaterials

○児玉高志 [1,2]（1. スタンフォード大機械工、2. 東大工）

○Takashi Kodama[1,2] (1.Stanford Univ. , 2. Tokyo Univ.)

E-mail: kodama@photon.t.u-tokyo.ac.jp

固体材料の伝熱特性は、再生エネルギー源として期待される熱電変換デバイスや高密度集積回路の発熱問題を解決するための固体冷却技術など、早急な技術革新が嘱望されている様々な産業用デバイスの性能を決定する重要な物性であり、ナノレベルの構造制御や化学合成技術を駆使して材料のフォノン輸送特性を制御するフォノンエンジニアリングに大きな注目が集まっている。望ましい伝熱特性を有した新規材料を創製するためには、①ナノレベルにおける熱輸送の基礎理論の構築と計算技術の開発、②理論により提言された候補材料の化学合成技術や量産技術の確立、そして③新規材料の伝熱特性の実験による証明が必須である。近年、ナノ領域の伝熱特性を対象としたシミュレーション技術の整備が進み、またトップダウン微細加工技術や化学合成技術の進展により様々なナノ構造材料を製作することが可能となったが、一方でこれらの分野と比較してナノ領域の伝熱特性計測技術は大きな遅れを取っている。単一ナノ材料の長軸方向の熱伝導率を計測するためには、レーザー熱反射法や３ω法など伝統的な薄膜の面外熱伝導率計測手法を適用することは空間分解能や計測感度の問題で困難であるため、一般的に実験試料を組み込んだナノスケールのサスペンド構造を製作して電気的手法により熱伝導率を計測する必要がある[1]。しかしながらこのようなナノスケールのサスペンド構造を有する計測デバイスを効率良く準備することは非常に困難であるため、これが実験障壁となり様々なナノ構造材料の伝熱特性が依然として未解明ままとなっている。

この課題を解決するために我々研究グループは、二酸化シリコン膜をシリコン基板中に縦方向に埋め込んだナノスケールの繰り返し構造（ナノグリッド基板）を開始材料として用いた計測デバイス量産技術を新たに考案した（ナノグリッド加工法）。この手法では、研究対象となる孤立ナノ材料をナノグリッド基板上にまばらに分散させ、ナノグリッド上に位置する適当な試料を選定した後、多段階の電子線リソグラフィを行うことで単一ナノ材料が組み込まれたサスペンド構造を製作する。リソグラフィ過程に実験試料が組み込まれているため、この手法によりこれまで極めて製作効率が悪かった単一ナノ材料の伝熱特性計測デバイスの大量生産が可能となり、豊富な実験データから統計的な熱伝導率の算出や詳細な試料間の比較や議論を行うことができる。本講演ではこのナノグリッド加工法について解説し、本手法を適用することで実験により明らかになったカーボンナノチューブの熱伝導率や熱起電力の内包分子効果に関しても合わせて発表する予定である。

[1] P. Kim, L. Shi, A. Majumdar, and P. L. McEuen, Phys. Rev. Lett., 87, 215502, (2001).

© 2016年 応用物理学会